

## **AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA: UMA REVISÃO**

DOI: 10.19177/rgsa.v9e22020183-201

**Júlia Wahrlich<sup>1</sup>**

**Rodrigo Augusto Freitas de Alvarenga<sup>2</sup>**

**Jairo Afonso Henkes<sup>3</sup>**

**Ivete de Fátima Rossato<sup>4</sup>**

**Flávio José Simioni<sup>5</sup>**

### **RESUMO**

A sociedade atual está assimilando cada vez mais a questão de utilizar recursos mais sustentáveis para o planeta. Estudos recentes têm surgido sobre uma nova metodologia existente, derivada da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que abrange os três pilares da sustentabilidade, sendo conhecida como Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida. Porém, é necessário um entendimento de cada dimensão para saber como realizar esta nova técnica da melhor maneira possível. Esta revisão da literatura teve como objetivo contextualizar esta nova tendência da ACV, contemplando as considerações de diversos autores acerca do tema, levantando informações das questões ambientais, econômicas e sociais que servem de subsídio para uma análise mais sustentável. O primeiro passo nesta pesquisa foi explorar os assuntos a serem abordados, com a análise conceitual dos artigos encontrados, e o segundo passo foi analisar criticamente as diversas opiniões do assunto. Com este estudo, foi possível perceber que ainda existem muitas lacunas nesta nova ferramenta e novas metodologias precisam ser englobadas, sendo que o desafio para os próximos anos é saber como interligar a ACV com o meio econômico e social de maneira ainda mais efetiva, ficando claro para todas as organizações como a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida deve ser utilizada da melhor forma possível, a fim de garantir um futuro mais sustentável.

**Palavras-chave:** ACV. Dimensão econômica. Dimensão social. Sustentável.

<sup>1</sup> Engenheira Ambiental e mestrado em Ciências Ambientais, ambos pela Universidade Estadual de Santa Catarina (2018). Atua desde 2019 como professora no Centro Universitário Estácio de Sá, no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. E-mail: [julia.wahrlich@gmail.com](mailto:julia.wahrlich@gmail.com)

<sup>2</sup> Engenheiro Sanitária Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (2006), mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (2010) e doutorado em Applied Biological Sciences: Environmental Technology - Ghent University (2013). Foi professor na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Atualmente é Pesquisador na Ghent University (Bélgica). E-mail: [alvarenga.raf@gmail.com](mailto:alvarenga.raf@gmail.com)

<sup>3</sup> Doutorando em Geografia (UMinho, 2019). Mestre em Agroecossistemas (UFSC, 2006). Especialista em Administração Rural (UNOESC, 1997). Engenheiro Agrônomo (UDESC, 1986). Professor dos Cursos de Ciências Aeronáuticas, Administração, Engenharia Ambiental, do CST em Gestão Ambiental e do Programa de Pós Graduação em Gestão Ambiental da Unisul. E-mail: [jairohenkes333@gmail.com](mailto:jairohenkes333@gmail.com)

<sup>4</sup> Doutora em Engenharia de Produção (UFSC, 2002), Mestre em Engenharia de Produção (UFSC, 1996). Licenciada em Química/UFSM (1987), Engenheira Química (UFSM, 1993). E-mail: [ivete.rossato@unisul.br](mailto:ivete.rossato@unisul.br)

<sup>5</sup>- Engenheiro Agrônomo pela Universidade do Estado de Santa Catarina (1993), Mestre em Economia pela Universidade Federal de Santa Catarina (2000) e Doutor em Engenharia Florestal na área de Concentração em Economia e Política Florestal pela Universidade Federal do Paraná (2007). Professor da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), atualmente lotado no Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária e no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCAMB). E-mail: [flavio.simioni@udesc.br](mailto:flavio.simioni@udesc.br)

## **LIFE CYCLE SUSTAINABILITY ASSESSMENT: A LITERATURE REVIEW**

### **ABSTRACT**

Nowadays, the society is increasingly taking on the issue of using more sustainable resources for the planet. Recent studies have emerged on an existing new methodology, derived from the Life Cycle Assessment (LCA), which covers the three pillars of sustainability and is known as Life Cycle Sustainability Assessment. However, an understanding of each dimension is necessary to know how to perform this new technique in the best possible way. This literature review aimed to contextualize this new trend of LCA, including the considerations of several authors on the subject, bringing up information on the environmental, economic and social issues that serve as a subsidy for a more sustainable analysis. The first step in this research was to explore the issues to be addressed, with the conceptual analysis of the articles found, and the second step was to critically analyze the various opinions on the subject. With this study, it was possible to realize that there are still many gaps in this new tool and new methodologies need to be encompassed, and the challenge for the coming years is to know how to link LCA with the economic and social environment even more effectively. For all organizations such as life cycle sustainability assessment should be best used to ensure a more sustainable future.

**Keywords:** LCA. Economic dimension. Social dimension. Sustainable.

## **1 INTRODUÇÃO**

A sociedade atual está assimilando cada vez mais a questão de utilizar recursos mais sustentáveis para o planeta. Para obter e garantir uma boa qualidade de vida no futuro, a capacidade de suporte do sistema precisa ser considerada (TRAVERSO et al., 2012). Contudo, pensar somente na questão ambiental não é suficiente, visto que para agregar a sustentabilidade como um todo, questões econômicas e sociais precisam ser consideradas.

Dentre as metodologias utilizadas na área ambiental, encontra-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que trata do conjunto de etapas necessárias para que um produto cumpra a sua função, desde a obtenção dos recursos naturais até a sua

disposição final, contemplando atividades de manufatura, distribuição, uso e reaproveitamento pós-uso do produto (VIGON, 1993).

A ACV é uma metodologia de gestão ambiental que estabelece uma visão geral das consequências ambientais da existência de um produto/processo. Ela engloba o ciclo de vida do produto, desde a extração das matérias-primas, envolvendo sua produção e uso, as possibilidades de reciclagem e reuso, até sua disposição final (SANTOS, 2006). Por isso, a ACV é denominada de metodologia do “berço ao túmulo”, e tem como vantagens poder revelar os potenciais, mas nem sempre evidentes impactos ambientais (SILVA et al., 2009).

A ACV é uma ferramenta para múltiplos usos, como subsídio às estratégias de marketing (como declarações ambientais ou rotulagens), na tomada de decisão, na melhoria ambiental do produto, na concepção do projeto, na avaliação ambiental de processos e na definição políticas ambientais. Esta ferramenta é vantajosa para produtores e empresas poderem quantificar e comparar de uma forma integrada a performance ambiental relativa de seus produtos, e estabelecerem ações proativas as pressões ambientais dos mercados (CHEHEBE, 1997; SANTOS, 2006).

Curran (1999) chama a atenção que o conceito de ciclo de vida precisa ser estendido para além de um simples método de comparar produtos, sendo visto como uma parte essencial para conseguir objetivos mais abrangentes, como a sustentabilidade. Portanto, a comunidade científica começou a se questionar como a ACV poderia contribuir para a sustentabilidade, e assim, diversas metodologias e modelos surgiram (ZAMAGNI et al., 2013).

Neste contexto, a metodologia da ACV foi revista, buscando acrescentar nesta avaliação as informações econômicas e sociais, sendo incorporadas outras duas técnicas: Avaliação Econômica do Ciclo de Vida (AECV) e Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACVS). Assim surgiu uma nova forma de avaliar os produtos: Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV), que para Zortea (2015), refere-se a uma metodologia que busca verificar o nível de sustentabilidade de um produto, serviço ou processo dentro do ciclo de vida do objeto em estudo.

Kloepffer (2003) destaca em seu trabalho os métodos baseados no ciclo de vida para o desenvolvimento de um produto sustentável, discutindo sobre o restante

da dimensão sustentável na ACV. O autor destaca, portanto, que qualquer método de avaliação ambiental, econômica ou social para os produtos deve ter em conta o ciclo de vida completo, desde a extração de matérias primas, a produção até à utilização e reciclagem ou eliminação de resíduos. Em 2008, o autor conceituou a ASCV, colocando em discussão uma equação conceitual. Alguns anos se passaram, e em 2011, a UNEP (Guia do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) e a SETAC (Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental) publicaram um documento de orientação que permitiu fornecer um ponto de partida para conhecer as metodologias e técnicas adequadas para o ciclo de vida com base na sustentabilidade.

Sendo assim, 13 anos se passaram desde a primeira discussão sobre a inclusão de uma maior dimensão no contexto da ACV. A partir disto, outros estudos foram realizados, tornando possível uma melhor contextualização do assunto, colocando em pauta de que maneira a ACV se torna mais sustentável, e possíveis melhorias nas novas metodologias.

O objetivo desta pesquisa bibliográfica foi contextualizar esta nova tendência da ACV, considerando a literatura existente acerca do tema, levantando informações das questões ambientais, econômicas e sociais que servem de subsídio para uma análise mais sustentável.

## **2 METODOLOGIA**

A metodologia para a elaboração deste artigo consistiu em uma revisão da literatura com base em referências bibliográficas obtidas através de artigos publicados em periódicos internacionais selecionados no Portal de Periódicos da Capes, anais de eventos científicos, teses e dissertações e relatórios sobre o tema, abrangendo um horizonte de tempo de aproximadamente 10 anos.

Esta pesquisa exploratória foi realizada em duas etapas principais. O primeiro passo foi explorar os assuntos a serem abordados, considerando o conhecimento atual na área de ASCV. A literatura foi selecionada usando palavras-chave como: “avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida”, “avaliação ambiental do ciclo de vida”, “*life cycle assessment*”, “*life cycle sustainability assessment*”, “*life cycle costing*”,

“UNEP/SETAC”, etc., que foram consideradas palavras importantes para o objetivo desta pesquisa.

Alguns pioneiros da área de estudo foram selecionados para esta revisão de literatura, e certas fontes importantes para a contribuição científica na área também foram utilizadas, como o relatório de orientação da UNEP/SETAC, e periódicos como “*sustainability*” e “*the international journal of life cycle assessment*”.

Após a pesquisa bibliográfica e análise conceitual dos artigos, na segunda etapa, foi revista a literatura criticamente, a fim de analisar as diversas opiniões sobre as dimensões da sustentabilidade, como as empresas podem usufruir destas novas metodologias, quais são os benefícios de utilizar esta avaliação, quais são as visões dos autores quanto as lacunas deste sistema e o que deve ser pensado para uma avaliação futura mais abrangente e sólida.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 SUSTENTABILIDADE



O termo desenvolvimento sustentável foi utilizado pela primeira vez em 1987, no Relatório Brundtland, apresentado pela ONU, e foi definido como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem suas próprias necessidades (BRUSEKE, 1995).

A sustentabilidade envolve a ideia da manutenção dos estoques da natureza ou a garantia de sua reposição, seja por processos naturais ou artificiais. É um conceito ligado, em primeiro lugar, ao uso racional dos recursos evitando-se desperdícios e adotando processos de recuperação e reciclagem. A busca pela sustentabilidade também pode se dar através do desenvolvimento de novas tecnologias, desenvolvendo substitutos mais eficientes para materiais esgotáveis (MOURA, 2000).

Para colocar este conceito em prática, as empresas devem buscar reduzir os impactos ambientais de suas atividades, como a redução de emissão dos resíduos

para o meio ambiente e o uso de recursos naturais não renováveis, além de promover o desenvolvimento econômico e social.

### 3.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

De acordo com Claudino e Talamini (2012), a ACV consiste em uma técnica para avaliar o desempenho ambiental de um determinado produto, incluindo a identificação e a quantificação da energia das matérias primas utilizadas no seu ciclo de fabricação. Com esta técnica, também é possível analisar as emissões que o processo produtivo terá na água, solo e ar, decorrentes da produção, utilização e disposição final.

Roy et al. (2009), conceituam a ACV como sendo uma ferramenta para avaliar os efeitos ambientais de um produto, processo ou atividade ao longo do seu ciclo de vida ou duração, ou seja, realizar a análise “do berço ao túmulo”. De sua parte, Fernando et al. (2016), apontam esta análise para um novo termo, “berço ao berço”, ressaltando que deve ser considerado o reaproveitamento de resíduos em um novo ciclo de vida.

A ACV é uma poderosa ferramenta que possibilita a visualização de toda a cadeia de produção e os respectivos impactos ambientais, sociais e econômicos, por ela causados, permite ainda quantificar e posteriormente gerenciar a quantidade de recursos naturais envolvidos na produção, como água, insumos, energia, matéria-prima e até os esforços de mão de obra nela utilizados.

Em um estudo de ACV, todas as extrações de recursos e emissões para o ambiente são determinadas numa forma quantitativa ao longo do seu ciclo de vida, sendo com base nestes dados que são avaliados os potenciais impactos nos recursos naturais, no ambiente e na saúde humana (FERREIRA, 2004). Ainda segundo o autor, para a metodologia da ACV, existem inúmeras aplicações, desde o desenvolvimento de produtos, passando pela rotulagem ecológica e regulação, até à definição de cenários de prioridade e de política ambiental.

O ciclo de vida de um produto é geralmente segmentado em cinco fases distintas, conforme Dias (2009):



- Fase de extração e de fabricação das matérias-primas, que compreende as etapas de extração e tratamento das matérias-primas e fabricação de materiais e outros produtos intermediários;
- Fabricação do produto, que abrange todos os procedimentos de fabricação de peças e componentes de determinado tipo de produto e inclui os diferentes fornecedores que contribuem na fabricação deste;
- Utilização do produto pelo cliente, que engloba o consumo de energia para se utilizar corretamente o produto, a manutenção, a reparação, a utilização de consumo de bens ou serviços necessários para o bom funcionamento do referido produto;
- Fim de vida do produto, que consiste nos meios de eliminação do produto utilizado, podendo ser, reciclagem, reutilização, incineração ou disposição em aterros sanitários seguros;
- Fase de transporte, que compreende o conjunto de meios de transporte necessários para realizar o ciclo de vida completo do produto, como: transporte das matérias-primas, abastecimento pelos fornecedores, envio aos clientes e coleta dos produtos ao final da vida útil.

No Brasil, os princípios e estruturas da ACV estão definidos na norma ABNT NBR ISO 14040:2009, dentro da qual a avaliação do impacto inclui três fases: classificação, caracterização e ponderação. Seus requisitos e orientações estão definidos na norma ABNT NBR ISO 14044:2009.

Desta forma, a norma propõe que a ACV é composta por quatro etapas (NBR 14040:2009, p. 5-8):

- Definição do objetivo e escopo: para o objetivo, deve-se declarar inequivocamente a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público-alvo, isto é, para quem se pretende comunicar os resultados do estudo; para o escopo, devem ser considerados e claramente descritos os seguintes itens: função e unidade funcional; fronteiras do sistema; requisitos da qualidade dos dados; comparações entre sistemas; considerações sobre análise crítica;

- Análise de inventário: envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes a um sistema de produto. Esses dados também constituem a entrada para avaliação do impacto do ciclo de vida;
- Avaliação de impacto: é dirigida à avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, usando os resultados da análise de inventário. Em geral, esse processo é a tentativa de compreender esses impactos;
- Interpretação dos resultados: é a fase na qual as constatações da análise do inventário e da avaliação de impacto ou, no caso de estudos de inventário, são combinadas, de forma consistente, com o objetivo e o escopo definidos, visando alcançar conclusões e recomendações.

Existem vários benefícios para as empresas realizarem a ferramenta da ACV, e Ferreira (2004, p. 10) elenca os principais:

- Desenvolver uma sistemática avaliação das consequências ambientais associadas com um dado produto;
- Analisar os balanços (ganhos/perdas) ambientais associados com um ou mais produtos/processos específicos de modo a que os visados (estado, comunidade, etc.) aceitem uma ação planejada;
- Quantificar as descargas ambientais para o ar, água, e solo relativamente a cada estágio do ciclo de vida e/ou processos que mais contribuem;
- Assistir na identificação de significantes trocas de impactos ambientais entre estágios de ciclo de vida e o meio ambiental;
- Avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de materiais e descargas ambientais para a comunidade local, região e o mundo;
- Comparar os impactos ecológicos e na saúde humana entre dois ou mais produtos/processos rivais ou identificar os impactos de um produto ou processo específico;
- Identificar os impactos em uma ou mais áreas ambientais específicas de interesse.

Mesmo que a ACV esteja sendo estudada há anos e já está consolidada na ciência, existem algumas limitações para o seu uso. Ferreira (2004) aponta que a elaboração da ACV necessita normalmente de muitos recursos e demora muito



tempo, e por isso é importante que os recursos financeiros sejam balanceados com os benefícios previsíveis do estudo. Além disso, o autor discute que esta metodologia não determina qual produto ou processo é o mais caro ou funciona melhor, sendo assim, a informação desenvolvida num estudo de ACV deve ser utilizada como uma componente de um processo de decisão que conta com outras componentes, como o custo e o desempenho.

No contexto das empresas brasileiras, Barbosa Júnior et al. (2008) abordam que as principais dificuldades encontradas para difundir a técnica no país é a falta de pessoal adequadamente capacitado, de bancos de dados contendo informações para auxiliar nos estudos sobre a ACV de insumos industriais básicos como energia, aço, cimento, combustíveis, etc., e também de incentivos fiscais, por parte do estado, para aquelas empresas que desejam realizar e mudar os pontos críticos identificados por meio dessa análise.

Outra questão que o autor discute é sobre a influência de metodologias estrangeiras no Brasil na utilização de modelos de avaliação de impactos de amplitude que desconsideram as especificidades locais e regionais.



### 3.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO CICLO DE VIDA (AECV)

A AECV é a mais antiga das demais técnicas, e foi originada nos Estados Unidos, em 1965, a partir de um relatório para a Secretaria da Defesa sobre os custos durante a vida útil para aquisição de equipamentos (ZORTEA, 2015). Porém, segundo Kloepffer (2008), ainda não está totalmente padronizada. A SETAC foi a pioneira em especificar uma metodologia para o AECV, visando criar uma avaliação de custos de um produto ao longo de todo seu ciclo de vida, com um documento que contextualizou esta avaliação.

A utilização da AECV auxilia na verificação dos custos existentes em cada etapa do ciclo de vida de um produto, ajudando no reconhecimento de gastos com aquisição, operação, manutenção, transporte e disposição final (ZORTEA, 2015).

Segundo a NBR ISO 14062:2004, muitas organizações já estão se conscientizando da importância e dos benefícios da integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto. Entre alguns dos benefícios

identificados, está a redução de custos com a utilização de materiais mais baratos ou redução na massa de componentes, estímulo a inovação de novas alternativas, oportunidades de novos negócios e melhoria na qualidade dos produtos.

As etapas iniciais do desenvolvimento de um produto são as mais importantes para que as questões ambientais sejam consideradas, em todas as diferentes etapas do ciclo de vida do produto, podendo identificar os potenciais impactos ambientais que o produto possa gerar.

É possível também, através desta ferramenta, verificar quais produtos terão maior impacto no meio ambiente. Para utilizar a AECV, é necessário considerar quatro etapas, que segundo a UNEP/SETAC (2011) são: definição do escopo, objetivo e unidade funcional; custo de inventário; custos agregados às categorias de custo; e por fim, a interpretação dos resultados.

Para Finkbeiner et al. (2010), existem diversas abordagens para o cálculo da dimensão econômica da sustentabilidade, podendo ser considerados os custos de fabricação (a partir de uma perspectiva de negócios) e os custos do ciclo de vida (a partir da perspectiva do cliente). Os custos do ciclo de vida são os custos totais de um sistema ou produto, produzido ao longo de um tempo definido; os custos totais indicam a cobertura de todos os custos, sem atribuí-los a uma unidade de custo.

De acordo com Swarr et al. (2011), uma das principais motivações para os estudos de AECV é ter plenamente em conta os custos financeiros dos aspectos ambientais do ciclo de vida e os impactos que, em última instância, resultam de uma decisão. Segundo os autores, isto pode ser conseguido através da internalização dos custos, nomeadamente através da aplicação do princípio do poluidor-pagador ou da utilização de informações para tornar visíveis os impactos no momento da decisão.

Para ampliar a visão da AECV e ganhar mais espaço no contexto da ACV, Swarr et al. (2011) discutem que é necessário existir outros estudos acerca do tema, para ganhar experiência e validar a utilidade da ferramenta em diferentes setores da indústria. É importante também alguma experimentação para mostrar como os estudos complementares das dimensões econômica e ambiental podem influenciar na tomada de decisão das partes interessadas, com perspectivas e objetivos diferentes.

### 3.4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA SOCIAL (ACVS)

Segundo UNEP/SETAC (2009), a ACVS trata-se de uma técnica de avaliação dos impactos sociais envolvidos ao longo do ciclo de vida de um produto, englobando a extração e o processamento de matérias primas, fabricação, distribuição, uso, reuso, manutenção, reciclagem e disposição final. Ou seja, esta avaliação analisa os impactos sociais positivos e negativos de um produto desde a sua extração (“berço”) até a sua disposição final (“túmulo”).

A ACVS é uma técnica que auxilia num incremento para o método de análise, e ela em si não oferece uma nova solução para o consumo e a vida sustentável, e sim busca auxiliar nas futuras tomadas de decisão ou instigar um diálogo a respeito do objeto de estudo com relação aos aspectos sociais envolvidos (ZORTEA, 2015). Sendo assim, os resultados alcançados com a aplicação desta técnica apresentam um cenário do desempenho que as organizações possuem com relação à busca do bem-estar das partes interessadas.

Para Finkbeiner et al. (2010), os benefícios sociais podem ser estimados por meio da análise dos efeitos a nível local, nacional e mundial. A maioria dos indicadores sociais mede o grau em que os valores e objetivos sociais da vida ou da política, por exemplo, podem ser alcançados. Entretanto, muitas questões sociais não são possíveis de quantificar, existindo assim vários indicadores sociais padrões quantitativos de sistemas e atividades da organização, incluindo princípios operacionais, procedimentos e práticas de gestão.

Kloepffer (2008) ressalta que este terceiro pilar da sustentabilidade ainda se encontra na fase de “infância”, embora a ideia não seja tão nova, existindo diversas dificuldades metodológicas. Apesar deste fato, existe um número considerável de artigos científicos publicados, sendo importante para futuros estudos mais abrangentes desta dimensão, que entre os três pilares da sustentabilidade, é a que mais necessita de novas metodologias.

Dreyer, Hauschild e Schierbeck (2006) visam avaliar a responsabilidade das empresas envolvidas no ciclo de vida, embora os produtos sejam o ponto de referência. Isto necessariamente gera mais peso nas atividades de primeiro plano e nas pessoas envolvidas nela.

Hunkeler (2006) relacionou os impactos com a unidade funcional por meio do tempo de trabalho gasto para produzir a fração do produto final em uma fábrica ou no campo.

Norris (2006) considerou que os impactos sociais e socioeconômicos são os que geram dano à saúde humana, e a avaliação do atributo do ciclo de vida complementar os métodos clássicos da ACV.

Sendo assim, é possível observar que a análise das questões sociais é um assunto complexo que ainda necessita de uma padronização para saber quantificar os indicadores.

Segundo Klopffer (2008, p. 159), os principais problemas para a dimensão social são:

- Relacionar quantitativamente os indicadores existentes com a unidade funcional do sistema;
- Obter dados específicos para a ACVS regionalizada;
- Decidir entre muitos indicadores (a maioria deles qualitativos) ou alguns que podem ser quantificados;
- Quantificar todos os impactos corretamente;
- Avaliar os resultados.

### 3.5 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA (ASCV)

Com a ideia das três dimensões da sustentabilidade, Klopffer (2003) lançou um editorial para discutir que estes componentes têm que ser avaliados e equilibrados adequadamente, e os pesquisadores tem responsabilidade de fornecer informações confiáveis. Sendo assim, este foi o estudo pioneiro para futuras discussões da avaliação da sustentabilidade, buscando mostrar os métodos baseados no ciclo de vida que tem potencial para tais avaliações.

Neste contexto, em 2008 o autor integra os três pilares da sustentabilidade em uma dimensão única, sendo difundida a equação conceitual de Klopffer (2008), conforme demonstra a equação 1.

$$ASCV = ACV + AECV + ACVS \quad (1)$$

Zortea (2015) ressalta que esta equação deve ter os resultados de cada técnica lidos de forma combinada com os resultados das outras técnicas, ao invés de somente somá-las. Dessa forma, ainda segundo o autor, seria possível uma tomada de decisão integrada baseada na perspectiva do ciclo de vida, além de considerar as três dimensões da sustentabilidade.

A UNEP/SETAC (2011) publicou um documento de orientação que permitiu fornecer um ponto de partida para conhecer as metodologias e técnicas adequadas para o ciclo de vida com base na sustentabilidade. O documento intitula-se “*Towards a Life Cycle Sustainability Assessment*”, e contribuiu para as discussões sobre desenvolvimento sustentável para o Rio+20 (2012), fornecendo técnicas para desenvolver os três pilares da sustentabilidade de um produto. Com esta publicação, a UNEP/SETAC pretendeu aumentar a sensibilização dos tomadores de decisão para que eles possam fazer escolhas mais sustentáveis. Isto implica em orientar as empresas e as pessoas em reduzir a sua pegada ambiental, proporcionando benefícios para a sociedade.

Neste documento, a ASCV é definida como a avaliação de todos os impactos ambientais, econômicos e sociais e seus respectivos benefícios em processos de tomada de decisão, de forma a buscar os produtos mais sustentáveis por intermédio da avaliação do seu ciclo de vida.

Segundo tal documento, os tomadores de decisão, as partes interessadas, as empresas e os consumidores podem se beneficiar da ASCV, pois esta técnica:

- Permite que os profissionais organizem seus dados de uma forma estruturada, no complexo ambiental, econômico e social;
- Ajuda a esclarecer os *trade-offs* entre os três pilares da sustentabilidade, impactos das fases do ciclo de vida, produtos e gerações, proporcionando uma estrutura mais compreensiva dos impactos positivos e negativos ao longo do ciclo de vida do produto;
- Mostra como as empresas tornam-se mais responsáveis pelo seu negócio, levando em consideração a completa visão dos impactos associados aos seus produtos e serviços;
- Promove a conscientização nas questões de sustentabilidade;

- Apoia as empresas identificando as fraquezas e permitindo novas melhorias no ciclo de vida do produto;
- Apoia os tomadores de decisão em priorizar seus recursos e investi-los onde há mais chances de gerar impactos positivos e menos chances de gerar impactos negativos;
- Ajuda os tomadores de decisão a escolher tecnologias e produtos sustentáveis;
- Ajuda os consumidores em determinar quais os produtos que não são apenas custo-eficiente, eco-eficiente ou socialmente responsável, mas também mais sustentável;
- Caso o ASCV seja transparente, esta técnica torna possível ajudar as empresas a aumentar a sua credibilidade na informação.

Algumas questões para a aplicação do ASCV precisam ser consideradas, visto que abrange três dimensões e não é uma análise tão simples, principalmente no âmbito social. Zamagni et al. (2012) questionam alguns pontos importantes:

- Como o ASCV pode ser aplicado de forma consistente, considerando que existe um grau de maturidade diferente dos três métodos?
- O requisito de consistência é sempre viável ou é necessário estabelecer outros critérios?
- Que outras abordagens podem ser propostas para o ASCV?
- Que abordagens existem para a inclusão de mecanismos na análise?
- Como podem ser tratados diferentes domínios, valores e conhecimentos empíricos?
- Como as futuras estruturas de mudança da economia podem ser contabilizadas?
- Que tipo de métodos e ferramentas podem ser usados, combinados e/ou integrados?
- Quais são as estratégias e linhas de pesquisa que são consideradas relevantes para esta abordagem?
- Como se pode acomodar e gerenciar a incerteza, que é uma característica comum na avaliação da sustentabilidade?

Ainda que a sustentabilidade seja hoje aceita pelas partes interessadas como um princípio de orientação, permanece o desafio de determinar e medir



adequadamente o desempenho da sustentabilidade, especialmente para produtos e processos.

No documento da UNEP/SETAC (2011) é exposto que para alcançar a economia verde com consumo e produção sustentáveis, são necessárias técnicas para gerar conhecimento na eficiência dos recursos, a fim de melhor compreender o sistema de determinado produto. A ASCV desempenha um papel crucial neste processo, não só para as empresas, mas também na ciência e na capacitação dos consumidores em decidirem o produto mais sustentável para adquirir.

A avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida tem um grande potencial para ser utilizado nas empresas, governos, agências de cooperação internacional e outras organizações na sociedade, em seus esforços para produzir e consumir produtos mais sustentáveis. Isto implica na redução da degradação ambiental e no uso de recursos naturais de forma rentável, enquanto que, ao mesmo tempo, contribuem para o desenvolvimento do bem-estar social.

Estudos recentes mostram que este tipo de avaliação já está sendo aplicado em diversos casos distintos, como avaliar o quadro de sustentabilidade do setor elétrico da Turquia com diferentes tecnologias operacionais (ATILGAN e AZAPAGIC, 2016); avaliar e comparar quatro materiais típicos de tubulação de esgoto, considerando a sustentabilidade (AKHTAR et al., 2015); identificar as opções mais sustentáveis dentre as alternativas de eletricidade presentes no Reino Unido (STAMFORD e AZAPAGIC, 2012); revelar os impactos social, econômico e ambiental em nível macro de tecnologias alternativas de veículos nos Estados Unidos (ONAT, KUCUKVAR e TATARI, 2014).

#### **4 CONCLUSÃO**

Apesar do potencial que representa para os tomadores de decisão, a ACV demonstra ainda certas limitações, que devem ser transpostas de forma a consolidar sua contribuição à sustentabilidade no planeta. A ACV, se utilizada de forma efetiva, auxilia os gestores na tomada de decisões de caráter estratégico, pode proporcionar diversos ganhos no controle dos processos, possibilita a otimização de diferentes

processos produtivos, além de auxiliar na escolha de matéria-prima adequada a cada produto.

As empresas precisam descobrir que não basta pensar apenas em questões econômicas, mas também em questões ambientais e sociais relacionadas a seus produtos, processos e serviços. Ações neste sentido poderão levar a empresa ao sucesso e em alguns casos apenas mantê-la no mercado, onde sua sobrevivência depende de um equilíbrio entre seu desempenho econômico, social e ambiental, visto que a sustentabilidade só será alcançada se três pontos-chaves forem atendidos: o crescimento econômico, o equilíbrio ecológico e o progresso social.

Neste artigo foi possível entender as dimensões da sustentabilidade face à ACV, colocando em pauta os assuntos discutidos na literatura. A pesquisa demonstrou que, embora ainda necessitem algumas melhorias metodológicas, já foram estudados passos importantes para uma avaliação da sustentabilidade, podendo assim ser prosseguida. Porém, devem ser considerados maiores esforços para melhorar esta nova técnica, principalmente nas dimensões econômica e social.

Com esta pesquisa exploratória, percebeu-se que os autores mencionam que a ACV já está consolidada há muitos anos no meio científico, com normas padronizadas e muitos estudos já abordados. No entanto, é notório que necessita o desenvolvimento de novos estudos para construir um padrão internacional para a ASCV de forma abrangente, construindo uma base sólida de integrar os três pilares da sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

AKHTAR, S. et al. Life cycle sustainability assessment (LCSA) for selection of sewer pipe materials. **Clean Techn Environ Policy**. v. 17, p. 973-992, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040**: avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14044**: avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.

ATILGAN, B.; AZAPAGIC, A. An integrated life cycle sustainability assessment of electricity generation in Turkey. **Energy Policy**. v. 93, p. 168-186, 2016.

BARBOSA JÚNIOR, et al. Conceitos e aplicações de Análise do Ciclo Vida (ACV) no Brasil. **Revista Gerenciais**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 39-44, 2008.

BRUSEKE, F. J. O problema do desenvolvimento sustentável. (1995).

CHEHEBE, J. R. Análise do ciclo de vida dos produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., CNI, 1997. 120p.

CLAUDINO, E. S.; TALAMINI, E. Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio, uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17, n.1, p. 77-85, 2013.

CURRAN, M. The status of LCA in the USA. **Int. J. Life Cycle Assess.**, v. 4, p. 123-124, 1999.

DIAS, Reinaldo. Marketing Ambiental: ética, responsabilidade social e competitividade nos negócios. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

DREYER L. C., HAUSCHILD M., SCHIERBECK J. A Framework for life cycle impact assessment. **Int. J. Life Cycle Assess.**, v. 11, p. 88–97, 2006.

FERNANDES, F. M., et al. A importância dos aspectos ambientais na logística para o desenvolvimento de produtos verdes. **Revista E.T.C. Educação, Tecnologia e Cultura**, n. 14, 2016.

FERREIRA, J. **Gestão ambiental** - análise de ciclo de vida. Instituto Politécnico de Viseu, Portugal, 2004.

FINKBEINER, et al. Towards life cycle sustainability assessment. **Sustainability**. v. 2, p. 3309-3322, 2010.

HUNKELER D. Societal LCA methodology and case study. **Int. J. Life Cycle Assess.**, v. 11, p. 371–382, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14040: Environmental Management –Life cycle assessment –principles and framework. Switzerland, 2006, 20p.

KLOEPFFER, W. Life Cycle Sustainability Assessment of Products. **Int J. Life Cycle Assess.** v. 2, p. 89-95, 2008.

KLOPFER W. Life-cycle based methods for sustainable product development. **Int J Life Cycle Assess.** v. 8, p. 157–159, 2003.

MOURA, L. A. A. 2000.Qualidade e Gestão Ambiental: sugestões para implantação nas normas ISO 14000 nas empresas.2ª edição. Editora Juarez deOliveira. São Paulo–SP.

NORRIS G. A. Social impacts in product life cycles: Towards life cycle, attribute assessment. **Int. J. Life Cycle Assess.**, v.11, p. 97–104, 2006.

ONAT, N. C.; KUCUKVAR, M. TATARI, O. Towards life cycle sustainability assessment of alternative passenger vehicles. **Sustainability.** v. 6, p. 9305-9342, 2014.

ROY, P., et al. Review of life cycle assessment (LCA) on some food products. **Journal of food engineering.** v. 90, n. 0, p. 1-10, 2009.

SANTOS, L. M. M. Avaliação ambiental de processos industriais. 2. ed. São Paulo: Signus Editora, 2006.

SILVA, O. C. Eco-products and the environmental impact generated by logistical chains. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador. Anais... Salvador: ABEPRO, 2009.

STAMFORD, L.; AZAPAGIC, A. Life cycle sustainability assessment of electricity options for the UK. **International Journal of Energy Research.** v. 36, n. 14, p. 1263-1290, 2012.

SWARR, T. E., et al. Environmental life-cycle costing: a code of practice. **Int. J. Life Cycle Assess.**, v. 16, p. 389-391, 2011.

TRAVERSO, M., et al. Life cycle sustainability dashboard. **Journal of Industrial Ecology**. v. 16, n. 5, p. 680-688, 2012.

UNEP/SETAC. Life cycle initiative. Guidelines for social life cycle assessment of products. United Nations Environment Programme. **Social and sócio-economic LCA guidelines**. 2009.

UNEP/SETAC. Life cycle initiative. Towards a life cycle sustainability assessment: making informed choices on products. United Nations Environment Programme. **Proposal Guidance**. 2011.

VIGON, B.W. **Life-cycle assessment**: inventory guidelines and principles. Cincinnati, RREL/USEPA, 108 p., 1993.

ZAMAGNI A.; PESONEN, H. L.; SWARR, T. From LCA to life cycle sustainability assessment: concept, practice and future directions. **Int. J. Life Cycle Assess.**, v. 18, p. 1637-1641, 2013.

ZORTEA, R. B. **Avaliação da sustentabilidade do biodiesel da soja no Rio Grande do Sul**: uma abordagem de ciclo de vida. 2015. 238 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.